



TUGAS AKHIR - SF141501

**EFEK PENAMBAHAN GAS  $\text{CH}_4$  DAN  $\text{H}_2$  PADA  
PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS SILIKON AMORF TIPE-P  
DENGAN *PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR  
DEPOSITION* (PECVD)**

Ayunis Sholehah  
NRP 1113 100 067

Dosen Pembimbing  
Prof.Dr.Darminto, M.Sc  
Drs. Yoyok Cahyono, M.Si

Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - SF141501**

**EFEK PENAMBAHAN GAS  $\text{CH}_4$  DAN  $\text{H}_2$  PADA  
PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS SILIKON AMORF TIPE-P  
DENGAN *PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR  
DEPOSITION* (PECVD)**

**Ayunis Sholehah  
NRP 1113 100 067**

**Dosen Pembimbing  
Prof.Dr.Darminto, M.Sc  
Drs. Yoyok Cahyono, M.Si**

**Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - SF141501**

**EFFECT ADDED OF HYDROGEN GAS AND  
METHANE GAS IN GROWTH LAYER OF SILICON  
AMORPHOUSE THIN FILM P-TYPE USING  
PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR  
DEPOSITION (PECVD)**

**Ayunis Sholehah  
NRP 1113 100 067**

**Supervisor  
Prof.Dr.Darminto, M.Sc  
Drs. Yoyok Cahyono, M.Si**

**Physics Departement  
Faculty of Mathematics and Science  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EFEK PENAMBAHAN GAS CH<sub>4</sub> DAN H<sub>2</sub> PADA PENUMBUHAN  
LAPISAN TIPIS SILIKON AMORF TIPE-P DENGAN PLASMA  
ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (PECVD)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains  
pada**

**Bidang Studi Fisika Material  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**Ayunis Sholehah  
1113 100 067**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Prof. Dr.Darminto, M.Sc**

**Drs.Yoyok Cahyono, M.Si**



**SURABAYA, JANUARI 2017**

**EFEK PENAMBAHAN GAS CH<sub>4</sub> DAN H<sub>2</sub> PADA  
PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS SILIKON AMORF TIPE-  
P DENGAN *PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR  
DEPOSITION (PECVD)***

**Nama Penulis : Ayunis Sholehah**  
**NRP : 1113 100 067**  
**Jurusan : Fisika FMIPA-ITS**  
**Pembimbing : 1. Prof. Dr. Darminto, M.Sc**  
**2. Drs. Yoyok Cahyono, M.Si**

**Abstrak**

*Penelitian Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui laju gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan laju gas Silan (SiH<sub>4</sub>) pada kualitas film tipis silikon amorf (a-Si) tipe p. Penumbuhan lapisan tipe-p dibuat di atas kaca ITO berukuran 10 x 10 cm<sup>2</sup> pada daya RF 5 watt, tekanan chamber 480 mTorr, suhu substrat 210°C, laju gas silan (SiH<sub>4</sub>) 20 sccm, laju gas Boron (B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 2 sccm dan waktu deposisi 15 menit menggunakan sistem Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD). Proses pendopingan lapisan tipis dilakukan dengan mengalirkan gas Boron (B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) ke dalam campuran gas silan (SiH<sub>4</sub>), gas metan (CH<sub>4</sub>) dan hidrogen (H<sub>2</sub>). Semakin besar laju gas Hidrogen maka konduktivitas listrik dan Energi Gap akan semakin besar. Namun, sebaliknya ketebalan lapisan akan semakin kecil. Semakin besar laju gas Metan maka konduktivitas listrik dan Energi Gap akan semakin besar. Namun, sebaliknya ketebalan lapisan akan semakin kecil. Pada pemberian gas Hidrogen 60sccm nilai konduktivitas terjadi penurunan kembali yaitu sebesar 5602 (S/cm), diduga pada laju hidrogen tinggi cacat mulai terbentuk kembali.*

***Kata Kunci: Energi Gap, Konduktivitas, Ketebalan.***

# **EFFECT OF HYDROGEN AND METHANE ADDITION ON GROWING OF P-TYPE AMORPHOUS SILICON THIN FILM USING PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (PECVD)**

**Author** : Ayunis Sholehah  
**Student Identity** : 1113 100 067  
**Department** : Fisika FMIPA-ITS  
**Supervisor** : 1. Prof. Dr. Darminto, M.Sc  
2. Drs. Yoyok Cahyono, M.Si

## **Abstract**

*The objective of this final project research is to study the effect of flow rate of hydrogen gas ( $H_2$ ) and silane gas ( $SiH_4$ ) on the quality of the p-type amorphous silicon. Growth of p-type layer was conducted on the  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  ITO glass applying RF power of 5 watts, and pressure of 480 mTorr. At substrate temperature of  $210^\circ\text{C}$ , the rate of silane gas ( $SiH_4$ ) 20 sccm and the deposition time 15 minutes were set for deposition using the system Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD). Doping process was done by flowing diboron gas ( $B_2H_6$ ) into the mixture of silane gas ( $SiH_4$ ), methane ( $CH_4$ ) and hydrogen ( $H_2$ ). The bigger flow rate value of hydrogen gas has led to higher the electrical conductivity and energy gap. Contrarily, the layer thickness gets smaller. The increased rate of methane causes higher electrical conductivity and energy gap. Meanwhile, dilution with 60 sccm hydrogen gas has induced the decreased electrical conductivity down to 5602 S/cm, implying that the high flow rate of hydrogen increases the defects.*

**Keywords : Energy gap, Conductivity , Thickness.**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Fisika pada jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

### **EFEK PENAMBAHAN GAS CH<sub>4</sub> DAN H<sub>2</sub> PADA PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS SILIKON AMORF TIPE- P DENGAN *PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (PECVD)***

Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moral dan motivasi, bimbingan, kasih sayang, dan semua hal yang dibutuhkan terhadap keberhasilan penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Keluarga besar yang senantiasa memberi dukungan kepada penulis
3. Bapak Prof.Dr.Darminto M. selaku Dosen Wali dan Dosen pembimbing 1 Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Drs.Yoyok Cahyono, M.Si selaku Dosen Pembimbing 2 yang senantiasa membimbing dan memberi wawasan sehingga bisa terselesaikan dengan baik.
5. Sahabat seperjuangan Cahyaning Fajar Kresna Murti, Shelly Permata Sari dan Yuli Setyaningrum yang senantiasa memberikan semangat, dan bersama-sama melewati kejadian

yang menyenangkan dan menyedihkan menyelesaikan Tugas Akhir ini

6. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng. dan Dr. rer.nat. Eko Minarto selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA ITS.
7. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika ITS, terkhusus untuk Bapak Malik A.B Ibu Yanurita Dwi Hapsari, Bapak Mashuri, dll yang memberikan ilmu dan bimbingan.
8. Kakak Senior Soni Prayogi, Igantio Benigno, Ahmad Sholih, Mas Slamet dan Mas Mufid yang memberikan bantuan selama ini .
9. Bapak Aqidah yang membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir.
10. Sahabat Kabinet Risains BEM FMIPA, Nura Hajar Hafida, Zainal, Nilna Fauzia, dkk. Terima kasih banyak atas semua dukungan dan mau menemani baik senang maupun duka dan melewati badai saat menjadi pengurus dan sampai sekarang.
11. Sahabat kos Keputih gang 3E-37, Nabella Bethari, Adhistya Ratnasari, Tri Oktafiana, Dewi Kristina, Miftakhul Istiqomah yang sellau emberi dukungan dan motuvasi.
12. Keluarga Fisika Teori : Irasani Rahayu, M.Afif Ismail, dan yang lain terimakasih karena menjadi keluarga yang saling mendukung.
13. Keluarga RISAINS BEM FMIPA ITS 15/16, terima kasih telah memberikan kesempatan untuk belajar.
14. Teman-Teman Laboratorium Optoelektronika seluruhnya, Wafa Faziatu, Astrid Denaya, Puji Kumala, Muhadha Shalatin, Hidayatul R, Mbak Ning dll yang telah banyak membantu selama ini.
15. Keluarga besar “FISIKA 2013”, yang telah menjadi sahabat terbaik, terdekat, dan tersolid yang selalu bersama-sama dari awal kuliah.
16. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih banyak.



Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis berharap akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulis Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta menjadi inovasi untuk perkembangan lebih lanjut.

Surabaya, 06 Januari 2017

Penulis

Untuk Dosen Pembimbing saya tecinta,

**Prof. Drs. Darminto, M.Sc**  
**Drs. Yoyok Cahyono, M.Si**

Atas Segala :  
Bimbingan, Kritik, Nasihat, Ilmu, Pengalaman  
Dan semua hal yang telah Bapak berikan

Saya,  
**Ayunis Sholehah**  
Mengucapkan

**TERIMA KASIH**

## **DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Permasalahan .....	2
1.3	Tujuan Penelitian .....	3
1.4	Batasan Masalah .....	3
1.5	Manfaat Penelitian .....	4
1.6	Sistematika Laporan .....	4

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1	Semikonduktor Intrinsik .....	5
2.2	Semikonduktor Ekstrinsik.....	7
2.3	Struktur Padatan Amorf.....	8
2.4	Silikon Amorf dan Silikon Terhidrogenasi .....	8
2.5	Sifat Optik a-Si:H .....	10
2.6	Konduktivitas Listrik Amorf.....	18
2.7	Model Pita Energi Pada Semikonduktor Amorf ..	12
2.8	Pembuatan Material a-Si:H .....	13
2.9	AFM .....	17

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Peralatan dan Bahan .....	19
3.2.1	Pembuatan Sampel .....	20
3.2.2	Pengambilan Data .....	20

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Pembuatan Lapisan Tipis Tipe P .....	23
4.2	Pengukuran Ketebalan.....	37
4.3	Konduktivitas Listrik.....	26
4.4	Ikatan Gugus Fungsi.....	31
4.5	Celah Pita Energi.....	32

### **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Simpulan .....	37
5.2	Saran .....	37

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>39</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>41</b>
-----------------------	-----------

<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>51</b>
------------------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	a) struktur kristal 2 dimensi Si. b) ikatan kovalen Si.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Struktur padatan kristal dan struktur Padatan amorf .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	(a) Struktur a-Si (b) Struktur a-Si:H.....	9
<b>Gambar 2.4</b>	(a) Koefisien absorpsi sebagai fungsi energi foton (b) tauc's Plot untuk optical band gap .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Hubungan antara doping dengan Konduktivitas.....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Skema orbital molekuler a-Si dan Distribusi rapat keadaan silikon amorf.....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Pengaruh kandungan hidrogen dalam Silikon amorf terhidrogenasi.....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Skema dari gambar deposisi PECVD.....	15
<b>Gambar 3.1</b>	Skema Kerja Penelitian.....	19
<b>Gambar 4.1</b>	Hubungan antara laju gas Hidrogen Terhadap ketebalan .....	24
<b>Gambar 4.2</b>	Hubungan antara laju gas Metan Terhadap ketebalan.....	24
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Laju deposisi terhadap gas Hidrogen.....	25
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Laju deposisi terhadap gas Metan.....	26
<b>Gambar 4.5</b>	rangkaian <i>four point probe</i> .....	26
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Hubungan antara laju Hidrogen dengan konduktivitas.....	27
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Hubungan antara laju gas Metan Terhadap konduktivitas .....	28

<b>Gambar 4.8</b>	Konsentrasi karbon dan hidrogen dari lapisan tips a-SiCLH untuk setiap laju aliran gas metan.....	30
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Uji FTIR Sampel A.....	31
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil Uji FTIR Sampel B .....	31
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik hubungan antara laju gas Hidrogen dengan Energi Gap .....	33
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik hubungan antara laju gas Metan dengan Energi Gap.....	33
<b>Gambar 4.13</b>	Pengaruh band gap terhadap aliran CH <sub>4</sub> .....	35
<b>Gambar 4.14</b>	Band Gap untuk setiap densitas Hidrogen N <sub>H</sub> Untuk lapisan a-SiC:H (+) dan a-Si:H (o).....	35

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Perbedaan Silikon Kristal dan Amorf .....	9
<b>Tabel 3.1</b>	Variasi deposisi a-Si H .....	20
<b>Tabel 4.1</b>	Parameter deposisi lapisan tipe p .....	23
<b>Tabel 4.2</b>	Laju Deposisi rata-rata .....	25
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Gugus fungsi pada sampel A .....	32
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Gugus Fungsi pada sampel B .....	32

**“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”**



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran A</b>	Pengukuran Ketebalan Menggunakan <i>AFM(Atomic Force Microscopy)</i> .....41
<b>Lampiran B</b>	Pengukuran Konduktivitas Menggunakan <i>Four Point Probe</i> .....45
<b>Lampiran C</b>	Hasil Pengukuran Dari Energi Gap.....47
<b>Lampiran D</b>	Hasil Pengukuran Dari Uji FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ) .....49

**“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi merupakan salah satu aspek penting yang kini menjadi sorotan utama manusia di seluruh dunia. Khususnya energi listrik, konsumsi energi listrik ini meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi manusia. Selama ini kebutuhan energi mengandalkan minyak bumi sebagai bahan bakar utama. Namun adanya kenyataan semakin menipisnya cadangan minyak bumi menyadarkan manusia untuk segera mencari alternatif pengganti yang bersifat terbarukan dan juga lebih ramah lingkungan.

Indonesia sedang dihadapkan dengan isu penting di bidang energi yaitu adanya ketidakseimbangan jumlah pertumbuhan konsumsi energi yang tinggi dengan pemanfaatannya yang kurang efisien serta adanya kebutuhan energi yang masih didominasi oleh bahan bakar fosil. Hal ini dibuktikan dengan nilai intensitas energi pada Tahun 2007 sebesar 397 TOE per juta US\$. Nilai ini terpaut jauh dengan negara Jepang pada tahun 2005 sebesar 92.3 TOE per juta US\$. Ditambah lagi pada tahun 2008 suplai kebutuhan energi di Indonesia masih sangat didominasi oleh energi fosil yaitu gas alam 26.57%, tenaga air 3.11%, minyak 51.67%, batubara 15.34% dan panas bumi 1.32% dari total konsumsi energi primer nasional. Penggunaan bahan bakar energi fosil dampaknya adalah peningkatan gas rumah kaca (green house) yaitu CO<sub>2</sub> sebesar 25% pada tahun 1990. Peningkatan karbondioksida ini menyebabkan kenaikan suhu global sebesar 0,3°C-0,6°C (Smets, 2002). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu adanya energi Alternatif. Salah satu sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan dengan optimal adalah cahaya matahari. Indonesia yang terletak di khatulistiwa memiliki potensi penyinaran matahari yang besar. Dapat dilihat bahwa

matahari bersinar selama 12 jam setiap hari serta sepanjang tahun, dengan intensitas yang tinggi yaitu rata-rata sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Untuk memanfaatkan adanya cahaya matahari tersebut adalah dengan menggunakan sel surya. Sel surya merupakan alat yang bekerja dengan menggunakan prinsip photovoltaic yaitu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Sel surya diproduksi dengan bahan semikonduktor sebagai contoh silikon (Si) dan Germanium (Ge) yang memiliki sifat sebagai insulator saat suhu rendah, dan bertindak sebagai konduktor bila ada energi dan panas (Mintorogo,2000). Sel surya silikon merupakan sebuah dioda yang terbentuk dari dua lapisan yaitu lapisan silikon tipe p (silikon yang di doping dengan boron) dan lapisan tipe n (lapisan yang didoping dengan fosfor). Sel surya sendiri terbagi menjadi 3 tipe yaitu kristal tunggal, polikristal dan amorf. Silikon amorf terhidrogenasi(hydrogenated amorphous silicon) merupakan salah satu pendorong teknologi photovoltaic yang digunakan pada 25 tahun terakhir (Vilamitjana,2004).

Silikon amorf terhidrogenasi pertama kali dibuat pada tahun 1960. Carlson dan Worski pada tahun 1976 melakukan penelitian tentang pemanfaatan a-Si:H dengan mengembangkan peralatan photovoltaic (Street,1991). Efisiensi awal sekitar 2-3% dicapai di laboratorium untuk sambungan tunggal, selanjutnya naik hingga 13% dengan multiple structure serta paduan silikon. Kunci utama untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi adalah dengan mencari nilai yang tepat untuk material tipe p dan n. Spear dan Le Comber menemukan material tipe p dan n dengan PECVD yaitu dengan mencampur gas diborane (B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) untuk tipe p dan mencampur gas phosphine (PH<sub>3</sub>) untuk tipe n ke dalam reaktor chamber deposisi(Vilamitjana,2004).

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mencari tebal material tipe p yang optimum untuk diaplikasikan ke struktur lapisan sel surya. Metode yang digunakan adalah dengan mengalirkan gas SiH<sub>4</sub>, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, dan H<sub>2</sub> ke dalam chamber PECVD

tepatnya pada  $PL_3$ . Hasil penelitian didapatkan, konduktivitas listrik, ketebalan, dan nilai bandgap dari lapisan tipis a-Si:H tipe p.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan ikatan yang terbentuk pada lapisan tipis a-Si:H tipe p dengan a-SiC:H tipe p?
2. Bagaimana perbandingan besar bandgap yang ada pada lapisan tipis a-Si:H tipe p dengan a-SiC:H tipe p?
3. Bagaimana pengaruh laju hidrogen terhadap konduktivitas listrik dan band gap a-Si:H tipe p?
4. Bagaimana pengaruh laju gas metan terhadap konduktivitas listrik dan band gap a-SiC:H tipe p?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui perbandingan ikatan yang terbentuk pada lapisan tipis a-Si:H tipe p dengan a-SiC:H tipe p.
2. Mengetahui perbandingan besar bandgap yang ada pada lapisan tipis a-Si:H tipe p dengan a-SiC:H tipe p.
3. Mengetahui pengaruh laju hidrogen terhadap konduktivitas listrik dan band gap a-Si:H tipe p.
4. Mengetahui pengaruh laju gas metan terhadap konduktivitas listrik dan band gap a-SiC:H tipe p.

## 1.4 Batasan Masalah

Sebagai batasan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Lapisan tipis a-Si:H tipe p dideposisi dengan sistem PECVD.
2. Lapisan tipis tipe p ( $SiH_4$ ,  $B_2H_6$ ) yang dideposisi menggunakan  $CH_4$  dan tanpa  $CH_4$  dengan substrat kaca ITO.

3. Lapisan tipis a-Si:H tipe p yang dideposisi menggunakan  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{B}_2\text{H}_6$  dan  $\text{H}_2$  dengan substrat kaca ITO.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Mencari material a-Si:H tipe p yang baik untuk sel surya.
2. Mengetahui ikatan yang terbentuk pada lapisan tipis a-Si:H tipe p dengan a-SiC:H tipe p.
3. Mengetahui konduktivitas listrik dan band gap a-Si:H tipe p.
4. Mengetahui konduktivitas listrik dan bandgap a-SiC:H tipe p.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi waktu dan tempat penelitian, data penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hal-hal yang didapat selama penelitian, hal ini berkaitan dengan Energi gap, konduktivitas dan ketebalan lapisan yang dihasilkan.
5. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai simpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran untuk mendukung hasil penelitian.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 SEMIKONDUKTOR INSTRINSIK**

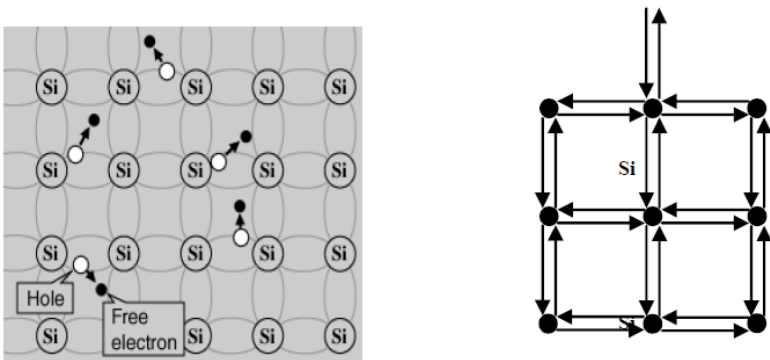
Semikonduktor yang belum terkotori oleh atom-atom asing disebut juga dengan semikonduktor instrinsik atau murni. Semikonduktor instrinsik terdiri atas satu unsur sebagai contoh unsur Si atau Ge. Jika dilihat dari struktur kristalnya, silikon dan germanium memiliki bentuk tetrahedral. Dalam struktur kristal ini, memakai satu buah elektron bersama oleh atom-atom yang berdekatan. Saat temperatur 0°K, elektron yang berada pada kulit terluar (pita valensi) memiliki ikatan yang sangat kuat, sehingga tidak memiliki elektron bebas, dengan kata lain pada saat keadaan ini silikon atau Germanium bersifat isolator.

Sedangkan pada suhu T tertentu, beberapa ikatan kovalen terputus akibat adanya energi panas. Sehingga elektron dapat meloncat dari pita valensi ke pita konduksi. Terputusnya ikatan kovalen tersebut menyebabkan ada elektron bebas dalam kristal dan adanya hole yang ditinggalkan. Daerah yang ditempati elektron bebas memiliki kelebihan muatan negatif dan daerah yang ditempati hole memiliki kelebihan muatan positif. Adanya muatan positif dan muatan negatif, memberikan kontribusi adanya aliran listrik pada semikonduktor intrinsik. Ketika elektron terluar dari ikatan kovalen yang lain mengisi lubang tersebut, maka akan terjadi lubang baru ditempat yang lain dan seolah-olah sebuah muatan positif bergerak dari lubang yang lama ke lubang yang baru. Yang mana dapat dilihat Gambar 2.1.

Pada semikonduktor intrinsik konsentrasi elektron bebas dan konsentrasi hole-nya adalah sama, yaitu :

$$n = p = n_i \quad (1)$$

dengan  $n_i$ =konsentrasi intrinsik.



**Gambar 2.1** (a) struktur kristal 2 dimensi Si. (b) ikatan kovalen Si

Konsentrasi pembawa muatan didalam semikonduktor intrinsik terhadap suhu, dapat ditentukan dengan menggunakan statistik Fermi Dirac :

$$n_i^2 = A_0 T^3 \epsilon^{-E_{GO}/Kt} \quad (2)$$

dimana:

$A_0$ =Tetapan tak bergantung suhu

$T$ = suhu (Kelvin)

$E_{GO}$ = energi gap pada 0 K (eV)

$K$ = konstanta Boltzman (eV/K)

$\epsilon = 2,7$

Kerapatan elektron dalam semikonduktor intrinsik :

$$n_i^2 = B.T^3 \exp \left( \frac{E_g}{kT} \right) \quad (3)$$

dengan :

$E_g$ = Energi celah pita semikonduktor dalam eV

$B$ =Konstanta bahan (untuk Si  $B=1,08 \times 10^{31} \text{ K}^{-3} \text{ cm}^{-6}$ )

$T$ = temperatur (K)

$k$ =konstanta Boltzman  $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$

$n_i^2 \approx 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  untuk silikon pada temperatur kamar.



## 2.2 SEMIKONDUKTOR EKSTRINSIK

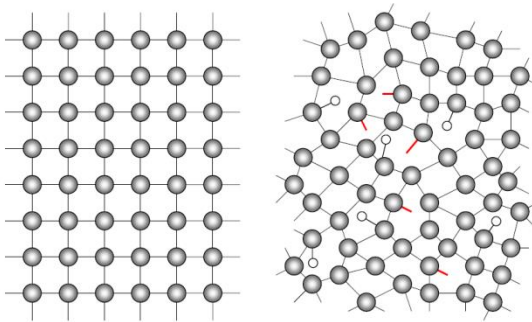
Semikonduktor murni yang telah diberi atom pengotor (impuritas) disebut dengan semikonduktor ekstrinsik. Proses penambahan pengotor atau impuritas ini disebut dengan doping. Adanya pendopingan tersebut memungkinkan adanya kontrol terhadap harga resistivitas bahan. Penambahan atom-atom impuritas yang berbeda dalam kisi kristal germanium atau silikon, akan menghasilkan perubahan pada sifat-sifat listriknya dan menghasilkan semikonduktor tipe p.

Pada semikonduktor ekstrinsik tipe p, dimana konsentrasi hole lebih tinggi dibandingkan dengan elektron, dapat diperoleh dengan menambahkan atom akseptor. Pada Si dan Ge, atom akseptornya adalah unsur bervalensi tiga misalnya Boron, Aluminium atau Galium. Karena unsur tersebut hanya mempunyai tiga elektron valensi, maka terdapat satu kekosongan untuk membentuk ikatan kovalen dengan atom induknya. Atom tersebut akan mengikat elektron dari pita valensi yang berpindah ke pita konduksi. Dengan adanya penangkapan sebuah elektron, atom akseptor akan menjadi ion negatif. Atom akseptor akan menempati keadaan energi dalam energi gap didekat pita valensi.

Sebagai contoh atom Ga memerlukan satu elektron lagi untuk berpasangan dengan atom Si. Oleh sebab itu atom Ga mudah menangkap elektron, maka dapat disebut sebagai akseptor. Jika ini terjadi, atom akseptor menjadi kelebihan elektron sehingga menjadi bermuatan negatif. Dalam hal ini disebut atom akseptor terion. Ion akseptor ini, memiliki muatan tak bebas, oleh karena tak bergerak dibawah medan listrik luar. Ion Si yang elektronnya ditangkap oleh atom akseptor terbentuk hole, yang disebut sebagai hole ekstrinsik. Hal ini jelas, dapat dikatakan, bahwa semikonduktor tipe p, hole merupakan pembawa muata yang utama, sehingga disebut pembawa muata mayoritas. Dan elektron sebagai pembawa muatan minoritas.

### 2.3 STRUKTUR PADATAN AMORF

Material amorf adalah padatan yang atom-atomnya tersusun secara acak dan tidak adanya kisi periodik. Posisi atom-atom tetangga terdekat di padatan amorf identik dengan padatan kristal dikarenakan adanya gaya ikat antar atom. Namun, untuk susunan rentang panjang (long range order) tidak lagi teratur karena adanya deviasi sudut ikatan. Pada struktur padatan amorf memiliki keteraturan susunan rentang pendek (short range order) (Annas,1995). Secara umum, material amorf dibentuk dengan cara pendinginan yang cepat (rapid cooling method) dari keadaan cair. Saat fase cair, atom-atom bergerak secara leluasa dan ketika didinginkan secara cepat sepanjang garik kesetimbangan termodinamika, maka akan memasuki fase cair super dingin (super cooled liquid phase) dan mencapai titik transisi gelas. Maka, pada keadaan tersebut terbentuk struktur amorf (Matsuda,1998).



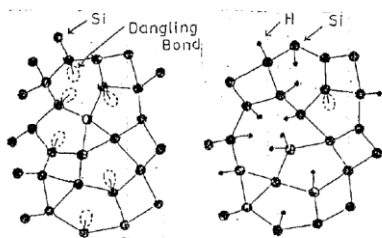
**Gambar 2.2.** Struktur padatan kristal dan struktur padatan amorf (Takashi ,1986)

### 2.4 SILIKON AMORF DAN SILIKON AMORF TERHIDROGENASI

Silikon amorf atau bisa disebut (a-Si) dapat dibuat dengan memanfaatkan fasa uap pada substrat dengan teknik evaporasi. Ikatan yang terbentuk dalam silikon amorf adalah ikatan kovalen. Ada beberapa hal yang membedakan silikon

kristal dengan siliko amorf, sebagaimana dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Silikon memiliki struktur diamond cubic, yang mana dapat dilihat pada Gambar 2.3 (a) kemudian untuk membentuk silikon amorf terhidrogenasi adalah dengan memasukkan sejumlah hidrogen kedalam silikon amorf. Pada Gambar 2.3 (b) menunjukkan bahwa antara atom Si dan atom H akan membentuk ikatan kovalen. kandungan hidrogen dalam a-Si:H akan mengurangi ikatan-ikatan kosong dan dapat mengurangi pita energi terlarang, sehingga meningkatkan sifat konduksi listriknya.



**Gambar 2.3** (a).Struktur a-Si (b). struktur a-Si:H  
(Matsuda,1998)

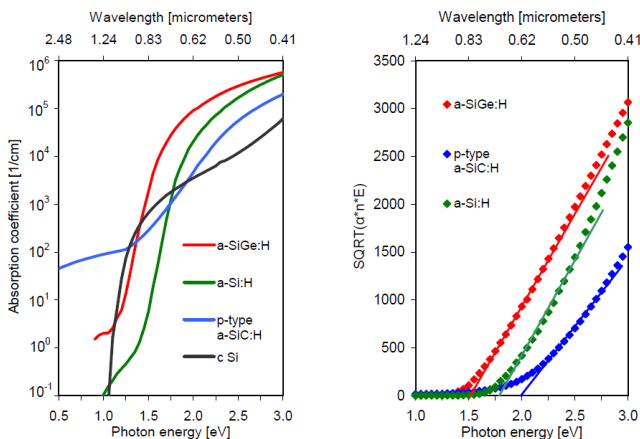
**Tabel 2.1** Perbedaan Silikon Kristal dan Silikon Amorf

No	Silikon Kristal	Silikon Amorf (Annas,1995).
1	Struktur atomnya dalam keadaan stabil, mempunyai keteraturan susunan atom dengan rantai panjang (Annas,1995)	Struktur atomnya dalam keadaan metastabil, terutama untuk sudut dihedral terdapat distribusi sudut ikatan yang lebar
2	Banyaknya kekosongan (cacat kristal) tergantung pada eksitasi termal (Beiser,1992).	Banyaknya tangan-tangan kosong dalam ikatan tetrahedral.
3	Memiliki batas butir	Banyak mengandung

	pada struktur kristalnya (Matsuda,1998).	kekosongan makroskopis seperti adanya pori-pori dan tidak adanya batas butir.
4	Bentuk tertentu	Dapat dibentuk sesuai kebutuhan.

## 2.5 SIFAT OPTIK a-Si:H

Sifat optik a-Si:H biasanya ditandai dengan adanya koefisien absorpsi dan nilai optik energi gap nya. Gambar 2 menunjukkan koefisien absorpsi dari a-Si:H yang difabrikasi di Delft University of Technology sebagai fungsi dari energi foton. Sedangkan koefisien c-Si ditampilkan untuk referensi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa a-Si:H menyerap hampir 100 kali lebih dari c-Si di bagian cahaya tampak pada spektrum matahari. Peningkatan nilai absorpsi disebabkan oleh gangguan dalam struktur atom dari a-Si:H. Ini menunjukkan bahwa tebal lapisan a-Si:H sebesar  $1\mu\text{m}$  cukup untuk menyerap 90% dari energi cahaya matahari. Namun, dalam prakteknya ketebalan a-Si:H sel surya besar dari H sendiri kurang dari  $0,5\mu\text{m}$  yang mana 100 kali lebih kecil dari ketebalan sel silikon kristal tunggal.



**Gambar 2.4.** (a) Koefisien absorpsi sebagai fungsi energi foton (b) Tauc's Plot untuk optical band gap

Menghitung optical band gap dapat menggunakan metode Tauc's Plot (Mursal,dkk, 2004). Hukum Tauc's dapat ditulis :

$$(\alpha h \nu)^{1/2} = B(h\nu - E_{\text{opt}}) \quad (4)$$

Dimana  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi,  $h$  konstanta planck,  $\nu$  frekuensi cahaya  $E_{\text{opt}}$  adalah optical band gap.

## 2.6 KONDUKTIVITAS LISTRIK AMORF

Konduktivitas listrik semikonduktor amorf ( $\sigma_A$ ) teragantung pada pembawa muatan ( $N_A$ ) dan mobilitas pembawa muatan ( $\mu_A$ ), dengan rumus sebagai berikut : (Hummel,1993)

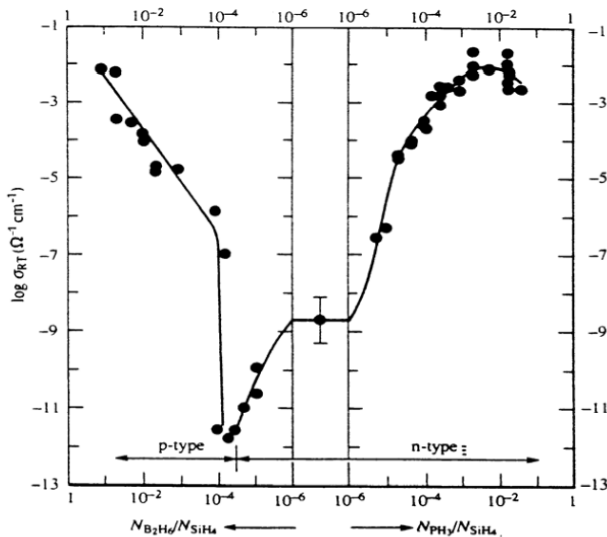
$$\sigma_A = N_A e \mu_A \quad (5)$$

Dalam semikonduktor amorf, rapat pembawa muatannya sangat kecil, dikarenakan elektron mengikat sangat kuat pada intinya masing-masing. Tidak adanya kisi periodik menyebabkan mobilitas pembawa muatan juga kecil. Sehingga, konduktivitas semikonduktor amorf pada suhu kamar secara umum sangat rendah, yaitu sekitar  $10^{-7} (\Omega\text{cm})^{-1}$  (Hummel,1993).

Proses hidrogenisasi pada a-Si:H dilakukan dengan menggunakan reaktor plasma yang dilengkapi dengan pembangkit medan listrik yang ditimbulkan oleh daya RF. Didalam proses ini, elektron dan molekul-molekul hidrogen didalam reaktor plasma akan mengalami tumbukan secara lenting maupun tidak lenting karena pengaruh adanya medan listrik.

Adanya peristiwa ionisasi dan disosiasi akibat tumbukan tak lenting, menyebabkan atom-atom hidrogen, akan menuju permukaan lapisan a-Si. Dengan adanya atom-atom hidrogen yang mengalir ke permukaan akan mengakibatkan reaksi radikal. Reaksi radikal tersebut

tergantung pada beberapa faktor yaitu daya RF dan suhu substrat.



**Gambar 2.5.** Hubungan antara doping dengan konduktivitas (Takashi dan Konagai, 1986)

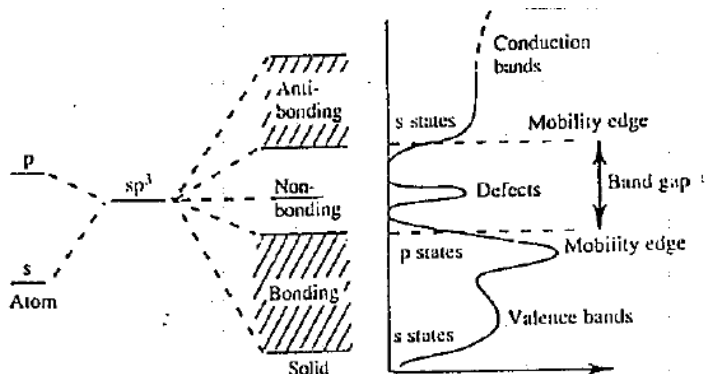
Selanjutnya a-Si:H yang telah terbentuk memiliki sifat yang mirip dengan silikon kristal, sehingga dihasilkan bahan semikonduktor dengan besar konduktivitas antara  $10^{-11}$  sampai  $10^{-2} (\Omega\text{cm})^{-1}$  (Hummel, 1993).

Takashi dan Konagai (1986) menjelaskan pada tipe n, konduktivitas meningkat dengan penambahan PH<sub>3</sub> dan mencapai nilai maksimum  $10^{-2} \text{ S cm}^{-1}$ . Sedangkan untuk tipe p dijelaskan bahwa konduktivitas menurun sampai nol dengan penambahan sedikit B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.5 yaitu pada gambar diatas.

## 2.7 MODEL PITA ENERGI PADA SEMIKONDUKTOR AMORF

Sifat dasar semikonduktor adalah adanya celah pita terlarang yang memisahkan pita valensi dengan pita konduksi.

Gambar 2.6 menunjukkan orbital pita valensi dan pita konduksi dari a-Si. State s (s state) dan state p (p state) bergabung membentuk orbital hibrida  $sp^3$  dari ikatan silikon tetrahedral dengan membentuk *anti bonding* (anti ikatan), *non bonding* (tidak berikatan) dan *bonding* (ikatan). Kemudian, orbital-orbital tersebut memisah karena adanya interaksi ikatan untuk membentuk pita valensi (*valence bands*) dan pita konduksi (*conduction bands*).



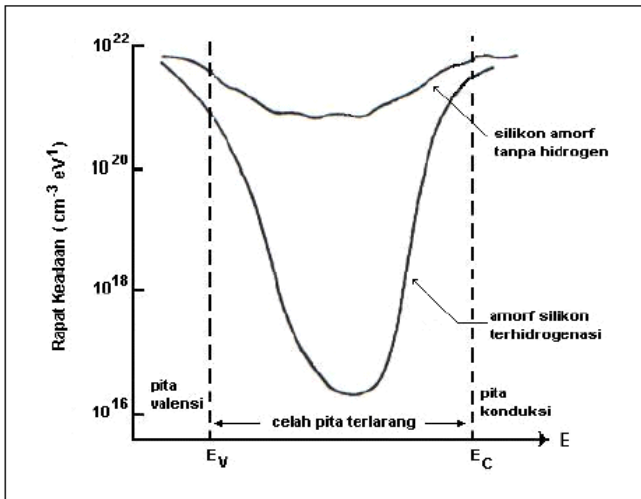
**Gambar 2.6** skema orbital molekul a-Si dan distribusi rapat keadaan silikon amorf (Street,1991)

Celah mobilitas dapat diartikan sebagai daerah yang keberadaan elektronnya nol. Celah mobilitas ditunjukkan pada daerah antara  $E_g$  dengan  $E_v$ , diapit oleh mobilitas tepi (*mobility edge*). Celah terlarang (*Band Gap*) dalam semikonduktor kristal analog dengan celah mobilitas semikonduktor amorf. Tepi pita konduksi terletak dibawah  $E_c$  sedangkan tepi pita valensi terletak diatas  $E_v$  (Danker,1985).

## 2.8 PEMBUATAN MATERIAL a-Si:H

Metode penumbuhan material amorf sudah banyak diteliti untuk mendapatkan kualitas yang berkualitas seperti , Vacuum Evaporation Method, Sputtering Method, Chemical Vapour Deposition (CVD), Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD). Metode PECVD menggunakan

frekuensi radio (rf) sebagai sumber pembangkit discharge. Lapisan-lapisan tipis amorf yang dihasilkan ditumbuhkan pada suhu substrat dibawah  $550^{\circ}\text{C}$ . (Street, 1991). Untuk deposisi bersuhu rendah ini membutuhkan sumber energi pendeposisian molekul gas silan ( $\text{SiH}_4$ ) dalam bentuk plasma.



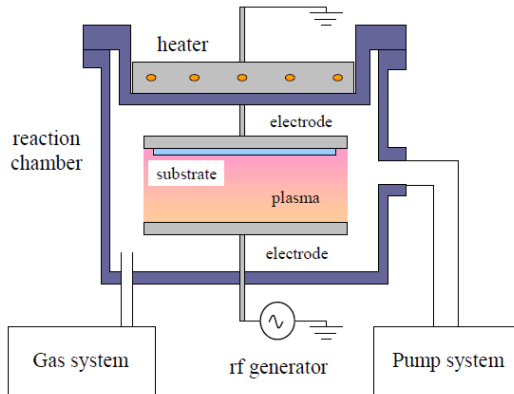
**Gambar 2.7.** Pengaruh kandungan hidrogen dalam silikon amorf terhidrogenasi (Takahashi, 1986).

Studi tentang a-Si:H dalam proses penumbuhan masih terus dilakukan, secara eksperimental, dalam rangka pengoptimalisasi untuk kerja divais berbasis material ini. Ada beberapa hal keunggulan material a-Si:H dibandingkan dengan kristal silikon. Keunggulan tersebut antara lain energi bandgap mudah dikontrol (1,65-1,8 eV), suhu penumbuhan relatif rendah dibawah  $500^{\circ}\text{C}$  sedangkan untuk penumbuhan kristal  $\sim 1450^{\circ}\text{C}$  dan absorpsi cahaya cukup tinggi. Adanya kandungan hidrogen akan mempengaruhi proses penumbuhan, mengakibatkan tingkat kecacatan bergerak masuk ke pita konduksi dan valensi, sehingga kerapatan keadaan berkurang secara tajam, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.7. Untuk itu



energi bandgap sangat dipengaruhi oleh kandungan hidrogen dan keberadaan defek pada lapisan tipis a-Si:H .

Disamping itu penumbuhan lapisan tipis a-Si:H juga dapat dilakukan dengan mendeposisi ke berbagai jenis substrat. Adanya suhu rendah dan kemudahan memilih jenis substrat merupakan faktor yang menjadikan proses penumbuhan relatif murah. Pada penelitian ini digunakan teknik glow-discharge decomposition (lihat Gambar 2.8) dengan sistem Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD) .



**Gambar 2.8.** Skema dari gambar deposisi PECVD

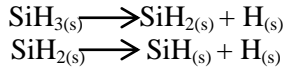
Poortmans dan Arkhipov (2006), proses deposisi a-Si:H dimulai dengan terbentuknya plasma beserta interaksi radikal sampai terbentuk lapisan yang terbagi menjadi 4 tahap. Yaitu :

1. Reaksi primer, terjadi disosiasi ikatan pada molekul  $\text{SiH}_4$  dan  $\text{H}_2$
2. Reaksi sekunder, terjadi reaksi antar radikal didalam plasma
3. Reaksi pada permukaan
4. Penyusunan sub permukaan dan relaksasi jaringan silikon

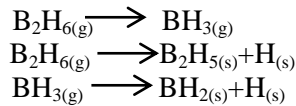
Proses disosiasi dapat dituliskan dalam persamaan reaksi :



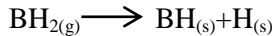
Terjadi proses selanjutnya pada silikon yaitu :



Dimana s merupakan spesies reaktif dan g merupakan spesies dengan fasa gas. Sementara pada gas boron terjadi dekomposisi :

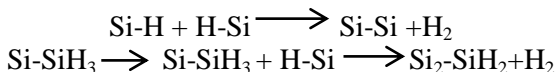


Pada gas boron ini mengalami dekomposisi selanjutnya yaitu:



Proses yang kedua adalah reaksi sekunder yaitu interaksi antar molekul dan ion ehingga membentuk spesies yang reaktif. Interaksi ini akan menghasilkan kelompok Si-H. Kelompok Si-H yang lebih besar disebut dengan debu (cluster) atau disebut juga dengan partikel serbuk. Keudian cluster akan menembaki substrat dan terjadilah proses penumbuhan lapisan tipis a-Si:H. Proses penembakkan pada substrat terjadi ketika atom-atom datang secara random mengenai permukaan (Jackson,2004).

Proses penumbuhan a-Si:H dapat dijelaskan dengan dua mekanisme yaitu difusi permukaan dan eliminasi Hidrogen (Smets,2002). Penumbuhan a-Si:H akan membentuk ikatan Si-Si dan memutuskan ikatan Si-H pada permukaan sehingga menghasilkan cross-link. Reaksinya:



Cross-link bisa juga terbentuk dibawah permukaan sehingga Hidrogen akan terperangkap didalam jaringan Si.

Tahap terakhir adalah penyusunan sub permukaan dari Hidrogen dan relaksasi jaringan silikon. Tahap ini akan menstabilkan ikatan Si-Si dan Si-H pada permukaan a-Si:H. Sebagai hasil pada tahap ini terbentuknya stress (tegangan) dan strain (regangan) pada permukaan sehingga ada permukaan kuat (ikatan stabil) dan ada permukaan lemah (ikatan tidak stabil). (Jackson, 2004)

## **2.9 AFM (Atomic Force Microscope)**

Atomic Force Microscope atau dikenal sebagai AFM merupakan salah satu metoda pengukuran dalam orde atomik. Sistem dalam AFM ini adalah pengembangan dari STM (Scanning Tunneling Microscope) yang beroperasi dengan metoda arus konstan. Dimana metode arus konstan ini, mempertahankan arus tunel dan dijaga dengan konstan. Ada dua cara dalam metode pengukuran AFM yaitu yang pertama jarum ukur bersa tepat diatas permukaan sample dan yang kedua jarum ukur berada beberapa nanometer diatas permukaan sample. Prinsip kerjanya ujung jarum sensor akan bergerak sepanjang garis ukur pada permukaan sample dengan mengikuti gunung dan lembah. Bergeraknya jarum ukur akan menyebabkan posisi batang dudukan jarum ukur berubah, adanya perubahan tersebut yang digunakan sebagai informasi bentuk permukaan sample.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

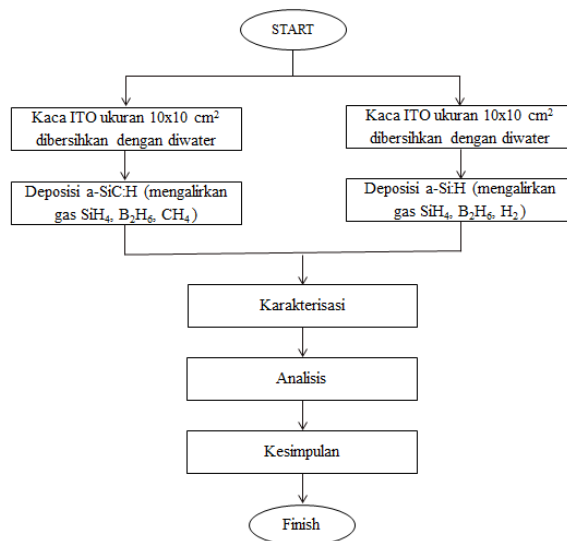
#### 3.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Kaca ITO ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ )
2. Gas Hidrogen ( $\text{H}_2$ ), Gas Boron ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ), Gas Silan ( $\text{SiH}_4$ ) dan Gas Metan ( $\text{CH}_4$ )
3. Sistem *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD)
4. Spektrometer UV-VIS
5. Sistem *Atomic Force Microscopy* (AFM)
6. Rangkaian *Four Point Probe*

#### 3.2 Diagram Kerja Penelitian

Alur kerja penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Skema Kerja Penelitian

### 3.2.1 Pembuatan Sampel

Tahap pembuatan sampel dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Kaca ITO ukuran  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dibersihkan dengan cairan diwater. Kemudian didiamkan sesaat agar kering. Hal yang harus diperhatikan yaitu di kaca ITO tidak boleh ada bekas tangan (sidik jari)
2. Lapisan tipis a-Si:H tipe p ditumbuhkan dipermukaan atas kaca ITO didalam PECVD dengan mengalirkan gas. Deposisi dilakukan di chamber PL3 dengan tekanan 480mTorr, temperatur  $210^\circ\text{C}$ , dengan waktu 15 menit.
3. Tahap diatas diulangi dengan laju aliran yang berbeda seperti pada tabel berikut :

**Tabel 3.1** Variasi deposisi penelitian

Sampel	Laju aliran $\text{SiH}_4$ (sccm)	Laju aliran $\text{B}_2\text{H}_6$ (sccm)	Laju aliran $\text{H}_2$ (sccm)	Laju aliran $\text{CH}_4$ (sccm)
A	20	2	0	0
B	20	2	0	30
C	20	2	40	0
D	20	2	60	0

### 3.2.2 Pengambilan data

Pada penelitian yang pertama, data yang diambil adalah ikatan yang terbentuk dan besarnya energi gap. Cara mengetahui ikatan yang terbentuk adalah dengan melakukan uji FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy). Prinsip dasar spektroskopi inframerah yaitu interaksi antara vibrasi atom-atom yang berikatan/gugus fungsi dalam molekul dengan mengabsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik inframerah. Adanya absorpsi ini menyebabkan eksitasi energi vibrasi molekul dari tingkat rendah ketingkat energi vibrasi yang lebih tinggi.

Pada penelitian yang kedua adalah resistivitas dan energi gap dari sampel. Pengukuran resistivitas pada sampel

dengan menggunakan teknik *Four Point Probe*. Dengan mengetahui arus sebesar  $I$  pada sampel dengan tebal  $A$  akan didapatkan nilai rapat arus listrik. Kemudian dengan mendapatkan nilai tegangan ( $V$ ) dan jarak antar probe ( $l$ ), akan didapatkan nilai kuat medan listrik ( $E$ ). Sehingga dari, pembagian rapat arus listrik dengan kuat medan listrik akan didapatkan nilai konduktivitas listrik.

$$\sigma = \frac{I}{E} \quad (3.1)$$

$$J = \frac{I}{A} \quad (3.2)$$

$$E = \frac{V}{l} \quad (3.3)$$

Tebal dari sampel dihitung menggunakan uji AFM (*Atomic Force Microscopy*). Prinsipnya adalah dengan mengambil rata-rata ketebalan dari lapisan yang belum dikerok dengan lapisan yang sudah dikerok.s

Selanjutnya cara mengetahui bandgap yaitu dengan pengamatan spektrometer UV-Vis. Prinsip kerja dari spektrometer UV-Vis ini adalah jika bahan dikenai cahaya maka energi foton akan diserap oleh elektron. Hasil dari uji UV-Vis ini berupa panjang gelombang dan transmitansi. Dari data tersebut dibuat grafik Tauc's Plot yang nantinya didapat hasil besar bandgap nya.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pembuatan Lapisan Tipis Tipe P**

Lapisan tipis tipe p ditumbuhkan diatas substrat kaca ITO dalam reaktor PECVD yang menggunakan daya RF sebesar 5 Watt, Tekanan sebesar 480mTorr, suhu 210°C. Waktu yang digunakan untuk deposisi adalah sama untuk semua sampel yaitu 15 menit. Laju aliran yang dibuat tetap adalah gas  $\text{SiH}_4$  yaitu sebesar 20 sccm dan gas  $\text{B}_2\text{H}_6$  yaitu sebesar 2 sccm. Sedangkan yang dibuat variasi adalah gas Metan ( $\text{CH}_4$ ) dan gas Hidrogen ( $\text{H}_2$ ).

Lapisan tipis a-SiC:H tipe p didapat dengan dideposisikan gas  $\text{SiH}_4$ , gas  $\text{B}_2\text{H}_6$  dan gas  $\text{CH}_4$ . Variasi yang digunakan yaitu gas  $\text{CH}_4$  sebesar 0 sccm dan 30 sccm. Sedangkan lapisan tipis a-Si:H tipe p didapat dengan dideposisikan gas  $\text{SiH}_4$ , gas  $\text{B}_2\text{H}_6$  dan  $\text{H}_2$ . Variasi yang digunakan yaitu gas  $\text{H}_2$  sebesar 0 sccm, 40 sccm dan 60 sccm. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini:

**Tabel 4.1** Parameter deposisi lapisan tipe p

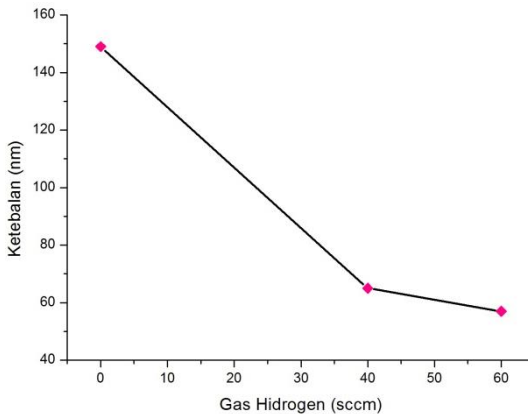
Sampel	Laju aliran $\text{SiH}_4$ (sccm)	Laju aliran $\text{B}_2\text{H}_6$ (sccm)	Laju aliran $\text{H}_2$ (sccm)	Laju aliran $\text{CH}_4$ (sccm)
A	20	2	0	0
B	20	2	0	30
C	20	2	40	0
D	20	2	60	0

#### **4.2 Pengukuran Ketebalan**

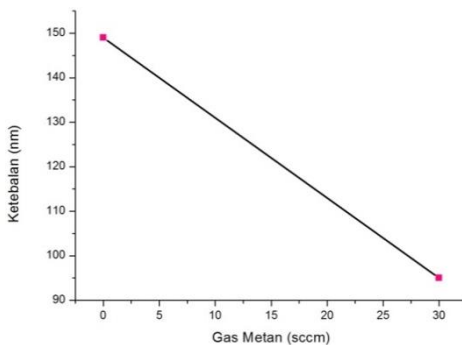
Lapisan tipis tipe p ditumbuhkan diatas substrat kaca ITO sebanyak 4 sampel. Masing-masing sampel diberi indeks A sampai dengan D, yang mana sesuai dengan laju gas

hidrogen dan gas metan yang diberikan. Sampel A dan B menggunakan laju gas metan sebesar 30 sccm dan 0 sccm. Sedangkan sampel B sampai dengan D adalah variasi gas hidrogen yaitu 0 sccm, 40 sccm dan 60 sccm. Ketebalan lapisan tipis tipe p diukur dengan menggunakan AFM (*Atomic Force Microscopy*). Dengan menggunakan rata-rata didapatkan hasil ketebalan tiap sampel sebagai berikut :

Hasil dari pengukuran menggunakan AFM (*Atomic Force Microscopy*), dapat dibuat grafik sebagaimana sebagai berikut ini:



**Gambar 4.1.** Hubungan antara laju gas Hidrogen terhadap ketebalan.



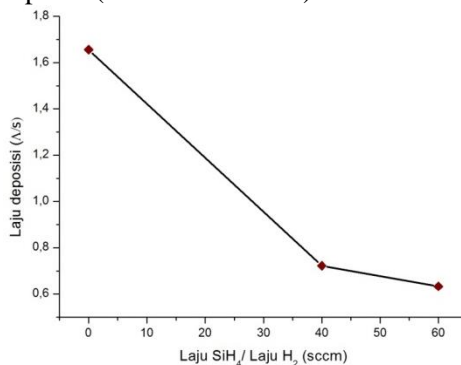
**Gambar 4.2.** Hubungan antara laju gas Metan terhadap ketebalan.

Data ketebalan yang didapatkan, dapat digunakan untuk perhitungan besarnya laju rata-rata proses deposisi lapisan tipis. Laju deposisi rata-rata dihitung dengan tebal dari sampel dibagi dengan waktu total selama proses deposisi. Laju deposisi dapat dilihat pada tabel berikut ini :

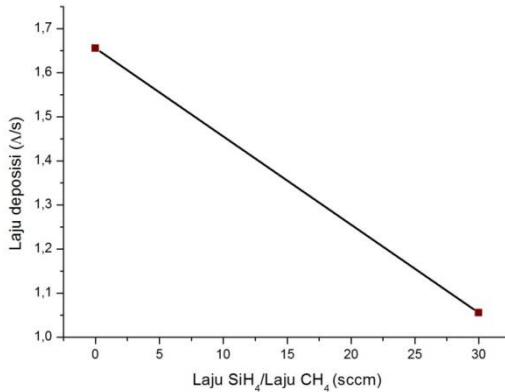
**Tabel 4.2** Laju Deposisi rata-rata

Sampel	Tebal rata-rata (Å)	Waktu (s)	Laju Deposisi (Å/s)
A	950	900	1,0
B	1490	900	1,6
C	650	900	0,7
D	570	900	0,6

Dari Tabel 4.3 diatas, dapat diketahui bahwa laju deposisi terbesar adalah terjadi pada sampel B yaitu sebesar 1,6 (Å/s). Berbeda dengan ketiga sampel lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh kehadiran gas metan maupun gas hidrogen. Laju deposisi pembuatan lapisan tipis tipe p sebagai fungsi laju  $H_2$  pada temperatur 210°C ditunjukkan pada gambar 4.2 dari grafik bahwa laju deposisi menurun seiring dengan perubahan laju hidrogen. Hal ini, disebabkan karena laju deposisi dipengaruhi oleh keadaan plasma. Plasma kaya akan ion H memungkinkan terjadinya abstraksi (pelepasan) H dari permukaan lapisan (Tofan dan Smets).



**Gambar 4.3** Grafik laju deposisi terhadap gas hidrogen

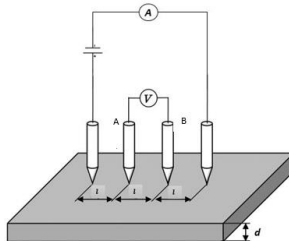


**Gambar 4.4** Grafik Laju deposisi terhadap gas Metan

Pada Gambar 4.4 menggambarkan tentang grafik laju deposisi terhadap gas metan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya gas metan, maka laju deposisi akan berkurang. Hal ini disebabkan karena adanya gas metan merupakan sumber karbon dan sumber hidrogen. Sehingga adanya kehadiran karbon maupun hidrogen, mampu mempengaruhi pelepasan ion yang terjadi.

### 4.3 Konduktivitas Listrik

Salah satu parameter yang penting didalam semikonduktor adalah konduktivitas listrik. Karena, dengan mengetahui nilai dari konduktivitas listrik, dapat mengaitkan impuritas dari sampel. Pengukuran nilai konduktivitas pada sampel adalah dengan menggunakan teknik *four point probe* seperti gambar dibawah ini :



**Gambar 4.5** rangakaian *four point probe*

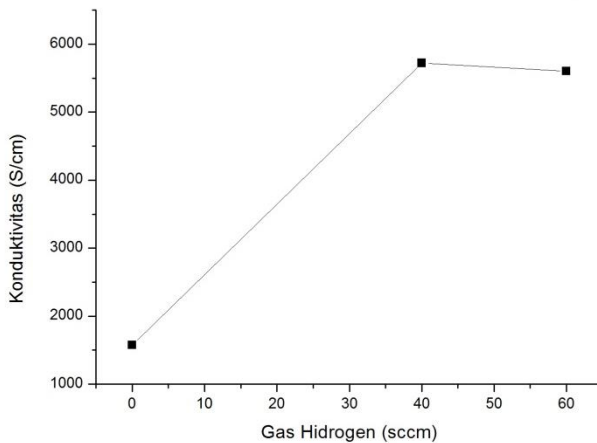
Dengan mengetahui arus sebesar  $I$  pada sampel dengan tebal  $A$  akan didapatkan nilai rapat arus listrik. Kemudian dengan mendapatkan nilai tegangan ( $V$ ) dan jarak antar probe ( $l$ ), akan didapatkan nilai kuat medan listrik ( $E$ ). Sehingga dari, pembagian rapat arus listrik dengan kuat medan listrik akan didapatkan nilai konduktivitas listrik.

$$\sigma = \frac{J}{E} \quad (4.1)$$

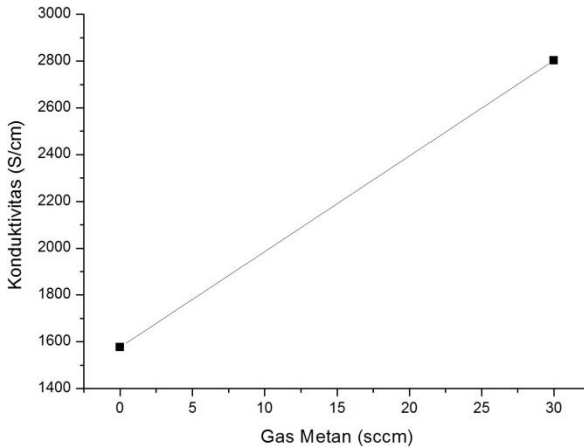
$$J = \frac{I}{A} \quad (4.2)$$

$$E = \frac{V}{l} \quad (4.3)$$

Nilai konduktivitas didapatkan dari persamaan diatas. Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai konduktivitas listrik dari suatu sampel, dipengaruhi oleh beberapa variabel. Diantaranya adalah tegangan, tebal lapisan, jarak antar probe, serta arus yang terbaca. Dengan adanya aliran arus listrik pada dua probe terluar maka akan didapatkan nilai Tegangan ( $V$ ) dari nilai tegangan yang terukur pada dua probe yang terdalam. Sedangkan untuk tebal lapisan didapatkan dari pengukuran AFM (*Atomic Force Microscopy*) yang tertulis pada tabel. Hasil pengukuran konduktivitas listrik dapat dilihat pada grafik berikut ini :



**Gambar 4.6** Grafik Hubungan antara laju hidrogen dengan konduktivitas



**Gambar 4.7** Grafik Hubungan antara laju gas Metan terhadap konduktivitas

Grafik 4.6 menunjukkan hubungan antara laju hidrogen terhadap nilai konduktivitas listrik yang terukur. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa konduktivitas mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya laju gas hidrogen. Terlihat pada pemberian hidrogen 0 sccm dengan pemberian hidrogen 40 sccm mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari 1576 (S/cm) ke 5718 (S/cm). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan laju gas hidrogen memberikan kontribusi pada perbaikan struktur lapisan a-Si:H yang terbentuk. Namun, pada pemberian laju gas hidrogen sebesar 60 sccm, terjadi penurunan nilai konduktivitas pada lapisan a-Si:H. Hal ini, kemungkinan besar disebabkan oleh pembentukan keadaan-keadaan cacat (defect states) dalam lapisan yang semakin banyak akibat pembentukan radikal ionik (bombardemen ionik), terutama cacat di keadaan-keadaan pada daerah celah pita.

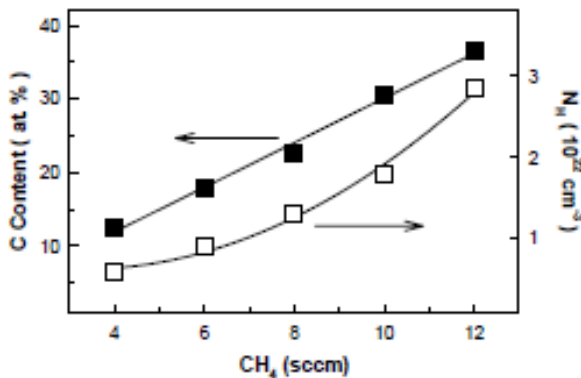
Kompleksitas kinetika reaksi dalam plasma saat proses deposisi sampai saat ini belum dapat diketahui secara pasti. Namun, adanya analisa teori serta kenyataan eksperimental turut membantu untuk memberikan adanya

gambaran dalam menganalisa mekanisme tersebut. Demikian halnya untuk mengurangi fenomena terjadinya bombardemen ionik saat deposisi lapisan a-Si:H adalah dengan cara meningkatkan laju gas Hidrogen. Hal ini, dimaksudkan untuk memperkecil defect atau cacat-cacat yang terbentuk. Karena, hidrogen berperan sebagai penurun rapat keadaan cacat dicelah pita terlarang dengan memasifkan dangling bond sehingga membawa pada pendopongan yang efektif. Namun, demikian peningkatan laju hidrogen ini tidak selalu seiring dengan peningkatan nilai konduktivitasnya. Pada hidrogen 60 sccm konduktivitas mulai menurun sedikit yaitu menjadi 5602 (S/cm). Diduga, cacat mulai terbentuk kembali saat laju hidrogen cukup tinggi.

Penggunaan laju hidrogen yang tinggi dapat membuat pendopongan tidak efektif lagi dan dapat menurunkan konduktivitas. Hal ini akibat ketidakaturan ikatan-ikatan yang terbentuk pada permukaan pertumbuhan saat deposisi berlangsung. Cacat atau defect ini lebih banyak membentuk cacat ekor pita (band-tail defect) yang menghambat mobilitas pembawa muatan pada pita energi, yang mana dapat menyebabkan penurunan nilai konduktivitas lapisan. Secara umum dapat dikatakan bahwa konduktivitas yang dihasilkan dengan gas Hidrogen 40 sccm lebih baik daripada pada laju gas Hidrogen 60 sccm, walau keduanya tidak memperlihatkan perbedaan sifat yang cukup signifikan.

Pada Grafik 4.7 menunjukkan hubungan antara laju gas Metan terhadap nilai konduktivitas listrik yang terukur. Dari deposisi tersebut maka yang dihasilkan adalah Lapisan tipis semikonduktor silikon karbon amorf terhidrogenasi ( $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ ). Dari grafik tersebut menunjukkan adanya peningkatan nilai konduktivitas seiring dengan peningkatan laju gas Metan. Pada kondisi gas metan 0 sccm nilai konduktivitas yang terukur adalah sebesar 1576 (S/cm) sedangkan pada laju gas metan 30 sccm nilai konduktivitas yang didapatkan adalah sebesar 2802 (S/cm). Hal ini menunjukkan adanya pemberian gas Metan, mempengaruhi sifat lapisan yang dihasilkan. Peningkatan laju gas metan

meningkatkan jumlah karbon didalam lapisan tipis. Adanya peningkatan tersebut, dapat menurunkan ketidakaturan pada jaringan amorf. Bertambahnya laju gas Metan juga meningkatkan konsentrasi hidrogen. Sedangkan telah dijabarkan sebelumnya bahwa hidrogen juga memperkecil nilai cacat yang terjadi pada lapisan. Oleh karena itu dapat disimpulkan, bahwa adaya gas metan merupakan sumber karbon dan hidrogen, sehingga dapat dikatakan bahwa gas tersebut mampu menurunkan cacat atau defect sehingga konduktivitas dapat meningkat.



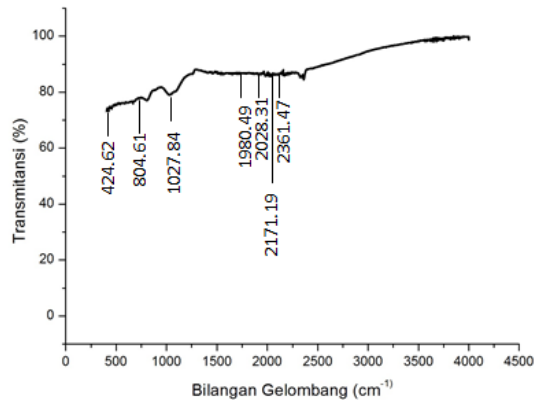
**Gambar 4.8** Konsentrasi karbon (■) dan hidrogen (□) dari lapisan tipis a-SiC:H untuk setiap laju aliran gas metan (Rosali,2003)

Gambar 4.7 diatas memperlihatkan hasil pengukuran dari jurnal Rosali 2003 yang menunjukkan nilai konsentrasi karbon dari lapisan tipis a-SiC:H. Selain itu, juga diperlihatkan konsentrasi nilai hidrogen dalam densitas atomik yang diperoleh dari eksperimen efusi hidrogen untuk setiap laju aliran gas metan. Data ini, memperkuat bahwa peningkatan konsentrasi karbon, diiringi dengan peningkatan konsentrasi hidrogen. Hal ini jelas menunjukkan adanya peningkatan laju aliran metan pada proses deposisi lapisan tipis a-SiC:H selain menambah jumlah karbon juga menambah jumlah hidrogen pada lapisan tipis.

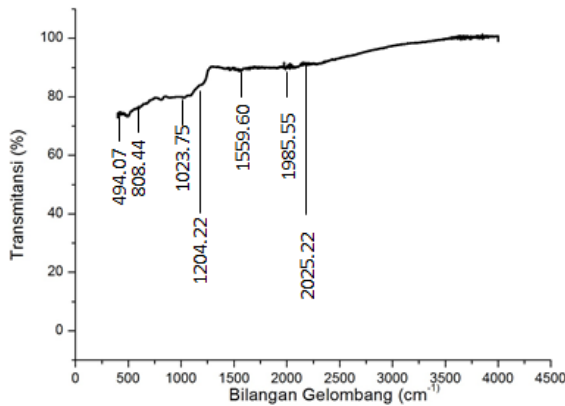


#### 4.4 Ikatan Gugus Fungsi

Lapisan tipis tipe p yang telah dideposisi , dilakukan uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Yang mana uji ini dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan atau gugus fungsi yang terbentuk didalam ikatan. Dengan mengetahui puncak-puncak yang muncul pada hasil uji FTIR, maka dapat ditemukan nilai ikatan yang terbentuk (Jahja,1997).



**Gambar 4.9** Hasil Uji FTIR Sampel A



**Gambar 4.10** Hasil Uji FTIR Sampel B

**Tabel 4.3** Hasil gugus fungsi pada sampel A

<b>Panjang Gelombang</b>	<b>Interpretasi</b>
2361,47	Si-C Ulur
2171,19	Si-H
2028,31	Si-H Ulur
1980,49	Si-H
1027,84	Si-O-Si Ulur
804,61	Si-O Tekuk
424,62	Deformasi keluar bidang Si-O

**Tabel 4.4** Hasil gugus fungsi pada sampel B

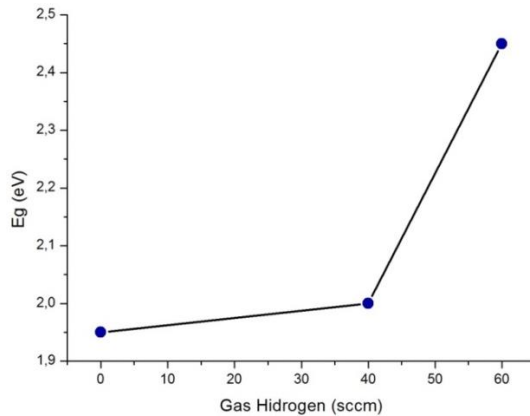
<b>Panjang Gelombang</b>	<b>Interpretasi</b>
2025,22	Regang Si-H
1985,55	Si-H
1559,60	Si-H
1204,22	Si-H
1023,75	Si-O-Si Ulur
808,44	Si-O Tekuk
494,07	Deformasi keluar bidang Si-O

#### 4.5 Celah pita energi

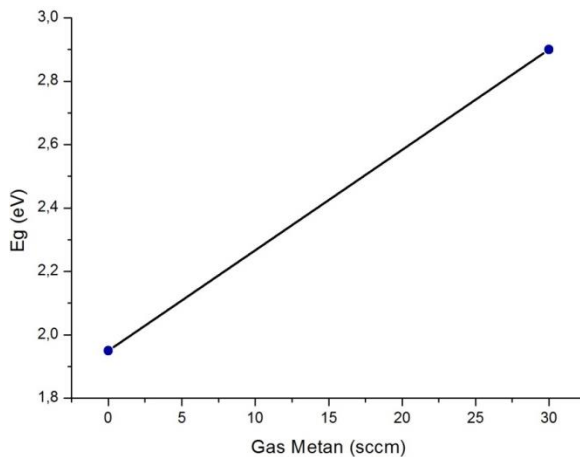
Band gap atau pita terlarang adalah daerah energi yang memisahkan level energi konduksi dan valensi dari suatu material semikonduktor. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk mengetahui nilai band gap adalah dengan menggunakan Metode Tauch Plot, berdasarkan persamaan :

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{n/2} \quad (4.4)$$

dengan memanfaatkan hubungan antara  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  dengan  $h\nu$  akan didapatkan nilai energi gap.



**Gambar 4.11** Grafik hubungan antara laju gas Hidrogen dengan Energi Gap



**Gambar 4.12** Grafik hubungan antara laju gas Metan dengan Energi Gap

Deposisi dengan menggunakan gas silan ( $\text{SiH}_4$ ) dan gas metan ( $\text{CH}_4$ ) akan menghasilkan lapisan tipis a-SiC:H. Adanya gas ini akan menyebabkan terjadinya disosiasi ikatan hidrogen Si-H, C-H. Pada penelitian sebelumnya, mengatakan adanya variasi energi gap terjadi karena adanya hibridisasi

ikatan  $sp^3$  dan  $sp^2$ . Hibridisasi ikatan  $sp^3$  dalam a-SiC:H berasal dari ikatan atom Si-Si, Si-C, serta C-C, sedangkan hibridisasi  $sp^2$  berasal dari ikatan rangkap dua atom karbon C=C (Jahja, 1997).

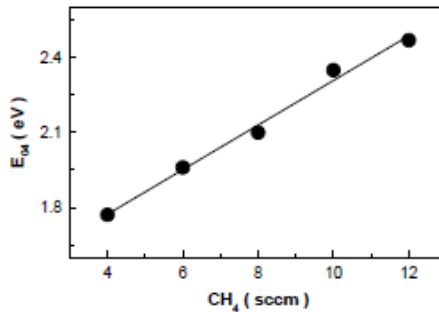
Keberadaan karbon dalam jaringan a-Si:H pada semikonduktor a-SiC:H dapat meningkatkan lebar celah optis. Hal ini disebabkan karena peningkatan densitas defek struktur dengan kehadiran karbon pada jaringan silikon amorf dan hilangnya konektivitas pada jaringan silikon amorf dengan kehadiran hidrogen. Kehadiran karbon dapat menyebabkan peningkatan cacat (defect) dikarenakan perbedaan panjang ikatan Si-Si dan C-C atau bisa juga dikarenakan karbon membentuk ikatan trigonal  $sp^2$  selain ikatan tetrahedral  $sp^3$ .

Hidrogen dapat menurunkan cacat (defect) di daerah pseudogap, dengan cara menurunkan jumlah ikatan tak saturasi (dangling bond) pada jaringan silikon amorf. Tetapi saturasi ikatan tersebut, mampu menyebabkan terbentuknya void. Peningkatan laju aliran gas metan pada proses deposisi lapisan tipis a-SiC:H selain menambah jumlah karbon (diwakili ikatan Si-C), juga menambah jumlah hidrogen pada lapisan tipis (diwakili ikatan Si-H dan C-H). Celah optis untuk setiap aliran gas metan diperlihatkan oleh Gambar 4.9. Gambar tersebut memperlihatkan peningkatan band gap dengan bertambahnya laju aliran gas metan. Relasi peningkatan band gap dengan bertambahnya aliran gas metan juga telah diperoleh Saleh dan munis.

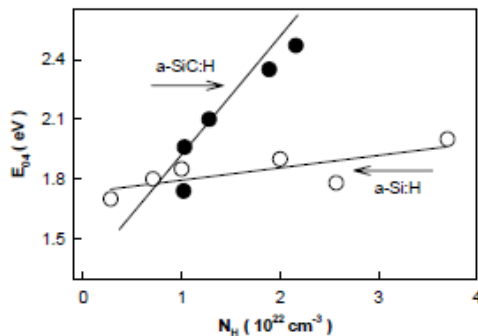
Bertambahnya jumlah hidrogen (dalam hal ini ikatan Si-H dan C-H) berpengaruh dengan peningkatan lebar band gap (beyer). Semikonduktor a-Si:H yakni model yang dikemukakan oleh Cody dan Ley. Cody memperkirakan bahwa peningkatan band gap untuk konsentrasi hidrogen 20% berhubungan dengan berkurangnya ketidakaturan, sedangkan untuk konsentrasi hidrogen diatas 20% peningkatan band gap berhubungan dengan hilangnya koneksi antar jaringan amorf. Bertambahnya konsentrasi hidrogen dapat menyebabkan berkurangnya densitas ikatan Si-Si dan bertambahnya ikatan Si-H sehingga menyebabkan pergeseran

ujung atas pita valensi. Hal inilah yang menyebabkan bertambahnya band gap (Lay,2010).

Dari uraian tersebut, telah diketahui bahwa adanya peningkatan band gap adalah dipengaruhi oleh gas karbon maupun gas hidrogen. Data ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Rosari dan Munisa.



**Gambar 4.11.** Pengaruh band gap terhadap aliran  $\text{CH}_4$



**Gambar 4.12 .** Band Gap untuk setiap densitas Hidrogen  $N_H$  untuk lapisan  $\text{a-SiC:H}$  (•) dan  $\text{a-Si:H}$  (o) (Rosari,2003)

Hidrogen dominan berpengaruh pada peningkatan band gap, disaat laju aliran gas metan rendah, sedangkan pada aliran gas metan tinggi, karbon yang dominan berpengaruh pada peningkatan band gap (Rosari,2003).

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar laju gas Hidrogen maka konduktivitas listrik dan Energi Gap akan semakin besar. Namun, sebaliknya ketebalan lapisan akan semakin kecil.
2. Semakin besar laju gas Metan maka konduktivitas listrik dan Energi Gap akan semakin besar. Namun, sebaliknya ketebalan lapisan akan semakin kecil.
3. Pada pemberian gas Hidrogen 60sccm nilai konduktivitas terjadi penurunan kembali yaitu 5602 (S/cm), diduga pada laju hidrogen tinggi cacat mulai terbentuk kembali.

#### **5.2 Saran**

Setelah melakukan proses penelitian tentang pembuatan lapisan tipis tipe-p maka penulis memberikan saran pada penelitian selanjutnya.

1. Pada penelitian ini
  - Perlu diketahui kandungan Hidrogen dan Karbon secara pasti didalam lapisan tipis tipe p yang terbentuk untuk meyakinkan pengaruh variabel penelitian.
2. Untuk peneitian selanjutnya
  - Sebaiknya menggunakan alat uji Spektrometer (NanoCalc-2000)

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR PUSTAKA

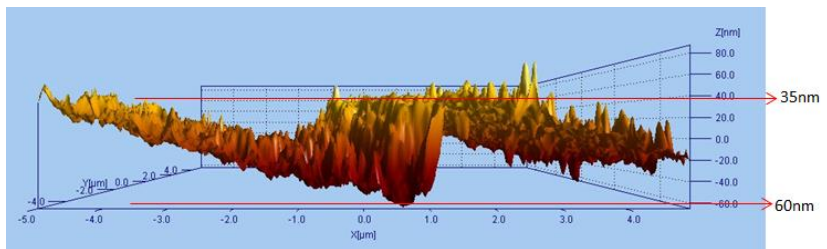
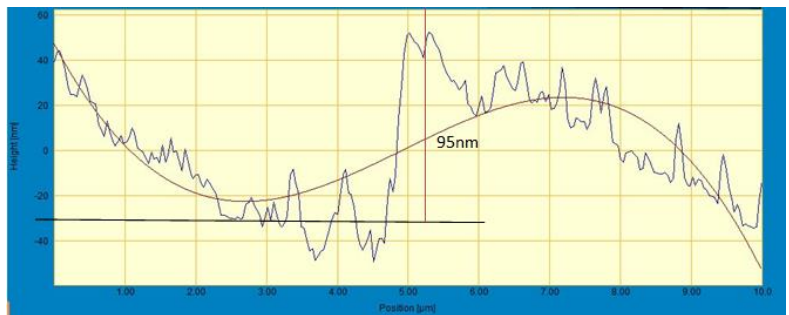
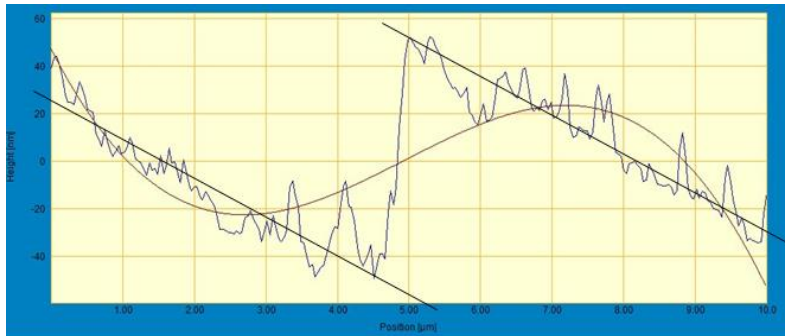
- B. Siswanto, Wirjoadi, T. . Atmono, and Yunanto, "Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis a-Si:H:B Untuk Bahan Sel Surya," GANENDRA, vol. IX no. 2, Jul. 2006.
- C.D. Cody, in : *Semiconductor and Semimetal 21 B* eds. R.K. Willardson dan A.C.
- Jahja, M. 1997. Pengaruh Perlakuan Anil Pada Konstanta Absorpsi Optis Dan Konfigurasi Ikatan Lokal Lapisan Tipis Amorf Silikon Karbon. Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi.
- Jef Poortmans & Vlaadimir rjhipov (2006) Thin film Solar Cells fabrication, Characterization and Applications, John Wiley & Sons
- J. Pearce, N. Podraza, R.Collins, M. Al-Jassim, K. Jones, J. Deng, and C. . Wronski, "Optimization of open circuit voltage in amorphous silicon solar cells with mixed-phase (amorphous+ nanocrystalline) p-type contacts of low nanocrystalline content," J. Appl. Phys., vol. 101, pp. 114301–1, 2007.
- L. Ley In: J.D Joannopoulos, G. Lucovsky (Eds.), The Physics of Hydrogenated Amorphous Silicon II.
- Mursal,dkk. 2004. *Analisis Sifat-Sifat Optoelektronik Lapisan Tipis Silikon Amorf Terhidrogenasi Yang Ditumbuhkan Dengan Teknik VHF-PECVD Pada Variasi Daya RF* . Bandung Institute Of Technology.
- N. PIMPABUTE, T. BURINPRAKHON, and W. SOMKHUNTHOT, "Determination of optical constants and thickness of amorphous GaP thin film," Opt. Appl., vol. XLI no. 1, pp. 257–268, 2011
- Oktoara, Tofan. 2009. Sifat Elektronik silikon amorf terhidrogenasi tipe p yang dideposisi dengan PECVD. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rosari Saleh, Lusitra Munisa Relasi Gap Optis dengan Struktur Ikatan Lapisan Tipis Amorf Silikon Karbon (a-SiC:H)

- Setyo, Evin Y. 2009. Sifat elektronik Lapisan Tipis Silikon Amorf Terhidrogenasi (a-Si:H) Tipe n dideposisi dengan PECVD. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- STREET, R,A *Hydrogenated Amorphous Silicon*, Cambridge, (1991), CHITTICK, R, C, ALEXANDER, J,H dan STERLING, H,F, *J. Electrochemical Soc.*, **77** (1969)1116).
- TAKAHASHI, K dan Konagai, M, *Amorpous Silicon Solar Cell*, North Oxford Academic,London, (1986).
- Takechi, K., Takagi, T., & Kaneko, S., 1997. "Performance of a-Si:H TFT Fabricated by Very High Frequency Discharge Silane Plasma Chemical Vapor Deposition", *Jpn. J. Appl. Phys.* **36**, 6269
- U. Kroll, J. Meier, A. Shah, S. Mikhailov, and J. Weber, "Hydrogen in amorphous and microcrystalline silicon films prepared by hydrogen dilution," *J Appl Phys*, vol. 80 (9), pp. 4971–4975, Nov. 1996.
- Winataputra, Panjaitan, dkk. 1996. Karakteristik Photoimence silikon porous yang dioksidasi pada suhu kamar. Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains.
- W. Beyer, H. Wagner, H. Mell, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **49** (1985) 189.

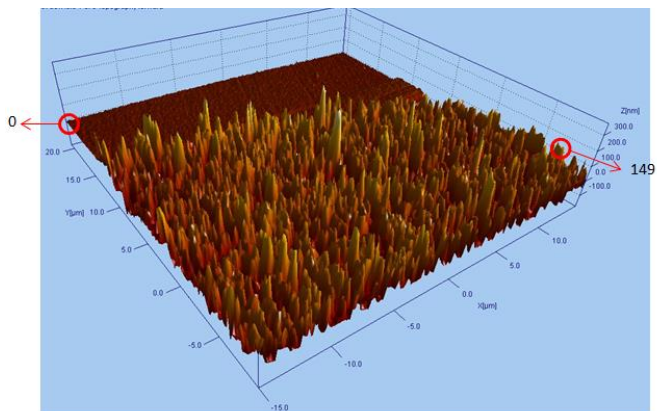
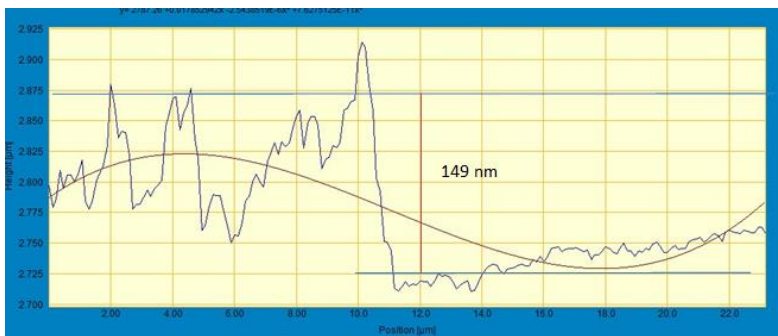
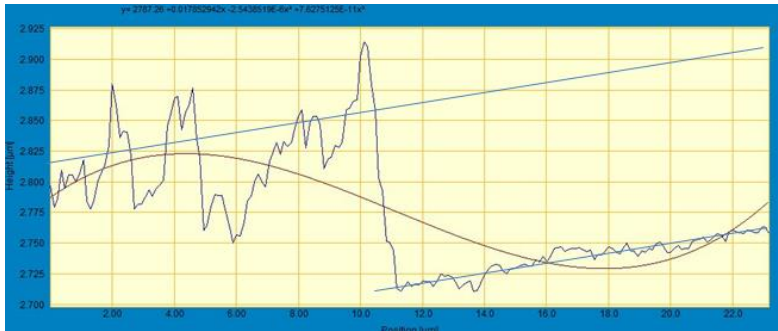
## LAMPIRAN A

### Pengukuran Ketebalan Menggunakan AFM (*Atomic Force Microscopy*)

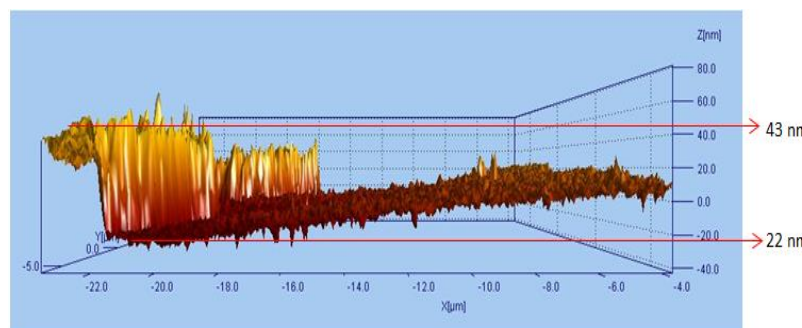
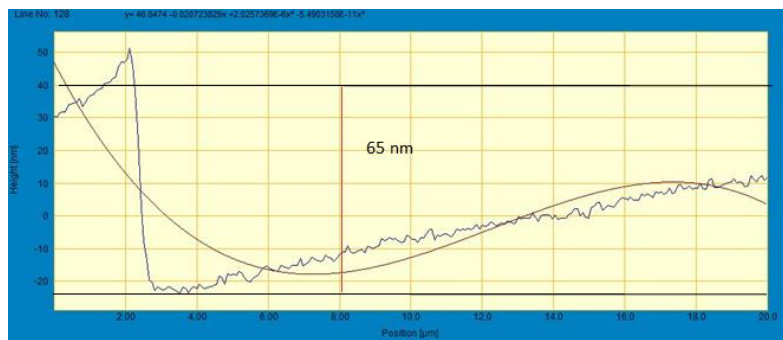
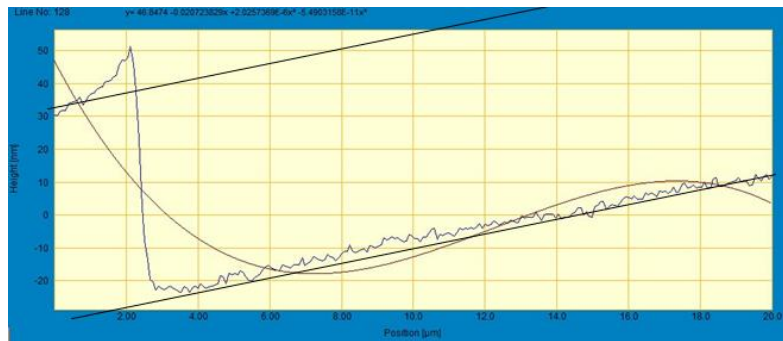
#### 1. Pengukuran ketebalan sampel A



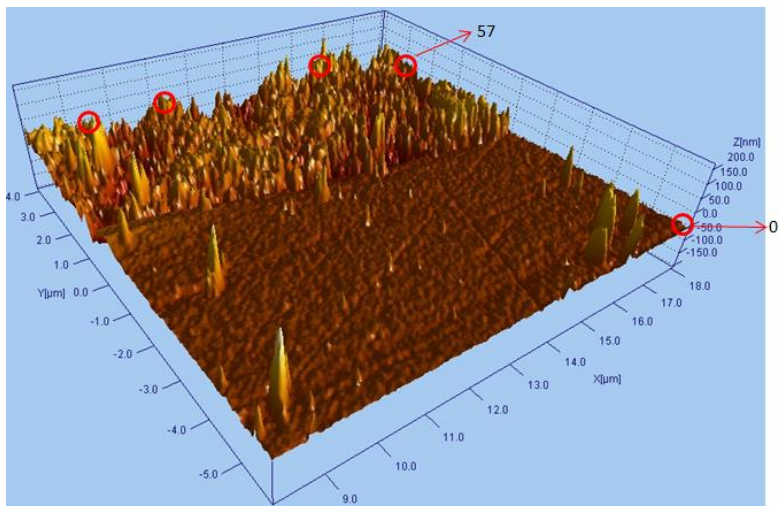
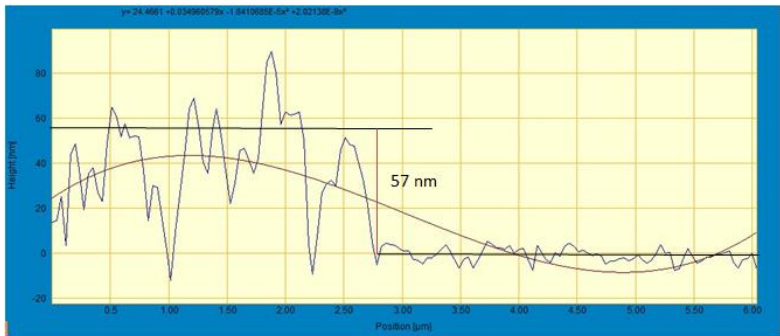
## 2. Pengukuran Ketebalan sampel B



### 3. Pengukuran Ketebalan Sampel C

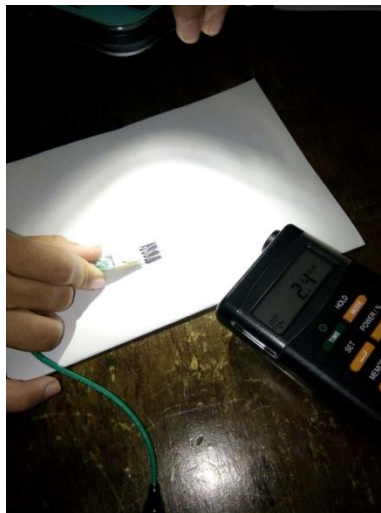


## 4. Pengukuran Ketebalan Sampel D



**LAMPIRAN B**

**PENGUKURAN KONDUKTIVITAS DENGAN  
MENGUNAKAN FOUR POINT PROBE**



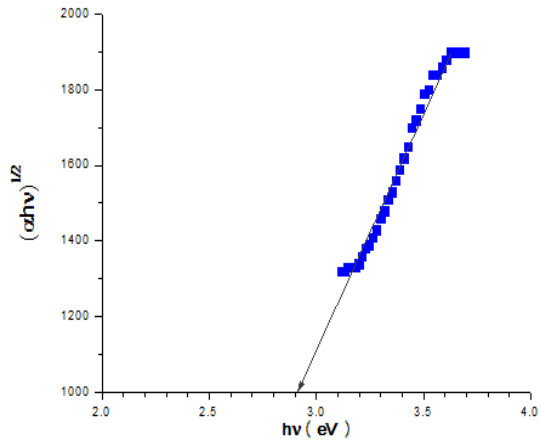
Sampel	Tegangan (V)	Arus Listrik (A)	Tebal (nm)	Jarak ( $\times 10^{-3}$ m)	Konduktivitas ( $\times 10^{-4} \Omega/\text{m}$ )
A	1,2	0,12	95	2,5	2,8
B	1,4	0,13	149	2,5	1,5
C	0,6	0,09	65	2,5	5,7
D	0,8	0,10	57	2,5	5,6



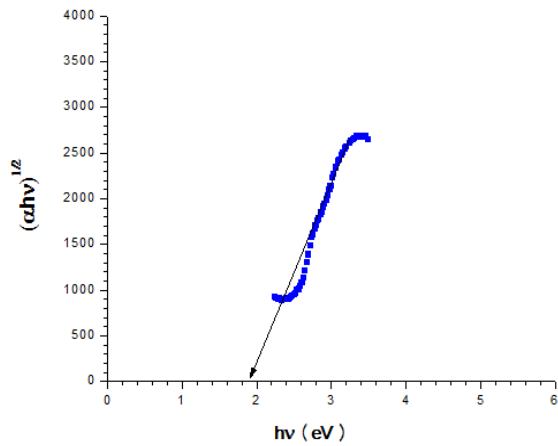
## LAMPIRAN C

### Hasil Pengukuran dari Energi Gap

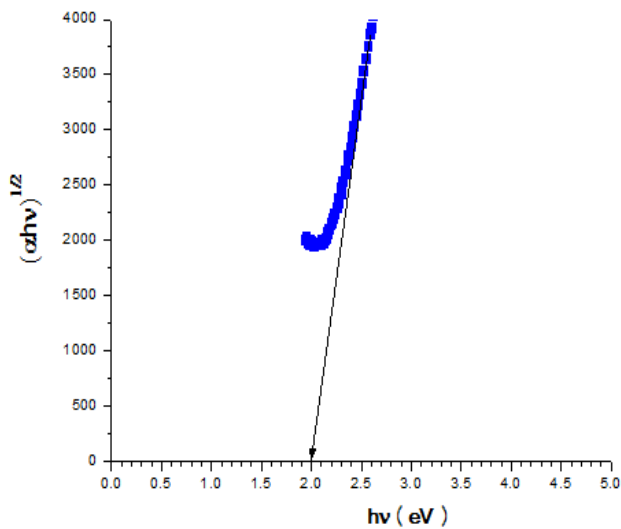
#### 1. Pengukuran Energi Gap pada sampel A



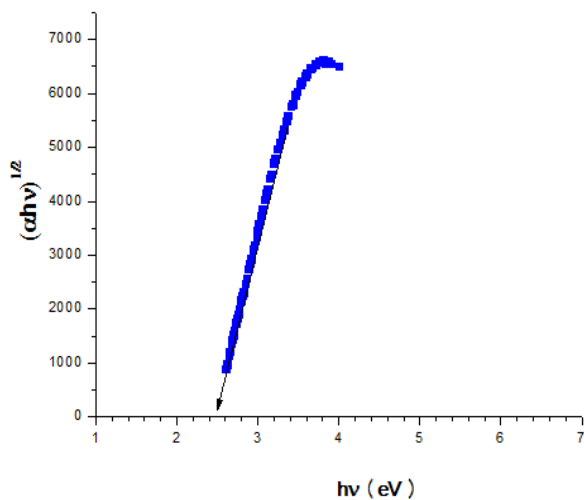
#### 2. Pengukuran Energi Gap pada sampel B



### 3. Pengukuran Energi Gap pada Sampel C

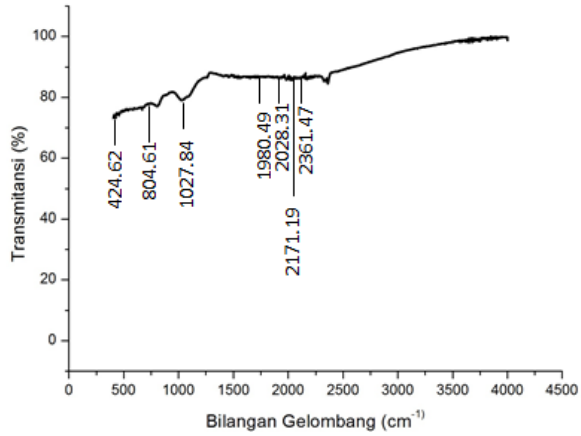


### 4. Pengukuran Energi Gap pada Sampel D

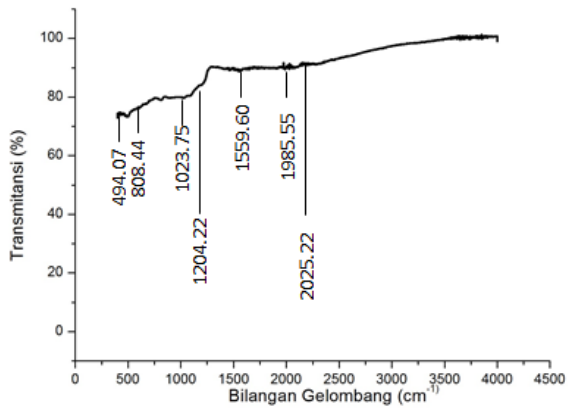


## LAMPIRAN D

### 1. Hasil Uji FTIR Sampel A



### 2. Hasil Uji FTIR Sampel B



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BIODATA PENULIS



Penulis Lahir di Kediri, 12 Februari 1995 dan telah menempuh pendidikan formal di SDN Siman 1, SMPN 1 Kepung dan SMAN 1 Pare. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA-ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN Undangan dan terdaftar dengan NRP 1113100067. Selama menjadi mahasiswa ITS, penulis aktif dalam organisasi mahasiswa yaitu anggota staff Ristek HIMASIKA ITS (2014-2015), staff RESDEV BEM FMIPA ITS (2014-2015), Sekretaris Ristek dan Sains BEM FMIPA ITS (2015-2016).

Dalam hal akademik, penulis pernah memegang peran sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar, Fisika Optoelektronika, Asisten Dosen Fisika Dasar dan WTKI (Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah).

Waktu luang penulis diisi dengan kegiatan menulis, baik dalam riset, novel, dan puisi. Akhir kata bila ada kritik dan saran dapat menghubungi penulis melalui : alamat email berikut, yaitu [ayunisholehah@gmail.com](mailto:ayunisholehah@gmail.com).